

Title	デバイス結晶材料およびナノ構造体の表面解析に関する研究
Author(s)	首藤, 浩文
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/1015">https://hdl.handle.net/11094/1015</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	すとうひろみ 首藤浩文
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第22968号
学位授与年月日	平成21年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科電気電子情報工学専攻
学位論文名	デバイス結晶材料およびナノ構造体の表面解析に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 片山 光浩 (副査) 教授 伊藤 利道 教授 森田 清三 教授 森 勇介 教授 杉野 隆 教授 尾崎 雅則 教授 栖原 敏明 教授 近藤 正彦 教授 谷口 研二 教授 八木 哲也

### 論文内容の要旨

本論文は、デバイス結晶材料およびナノ構造体の表面解析に関する研究についてまとめたものである。以下に得られた結論を示す。

- パワーエレクトロニクスデバイス材料の表面解析**  
 パワーエレクトロニクス材料として注目を集めているGaNに関連して、(1)GaN成長用基板として優れた特性をもつZrB<sub>2</sub>(0001)表面、および(2)液相エピタキシャル法により作製したGaN(0001)表面を同軸型直衝突イオン散乱分光法(CAICISS)により解析した結果を述べた。(1)については、HF溶液を用いた表面の清浄化手法の有効性を示すとともに、ヘテロエピタキシャル成長にとって重要となる表面の構造を明らかにした。(2)については、液相エピタキシャル成長特有の現象である再成長層の解析を行い、再成長層に含まれる酸素不純物が転位部分に選択的に存在する可能性を示した。また、エッチング処理により再成長層を除去した表面については、その清浄化が真空加熱により行えることを示し、表面の結晶性が良好であり、化学量論的組成を維持していることを明らかにした。
- Si(111)上 MnSi 薄膜の表面解析**  
 スピントロニクス材料として注目されているMnSi薄膜をSi(111)基板上に作製し、その形成過程と表面構造をCAICISSにより解析した結果を述べた。Si(111)上に蒸着したMn原子が加熱により基板のSi原子と反応しMnSi薄膜を形成する過程を解析するとともに、MnSi薄膜とSi基板の結晶学的方位関係、およびその表面構造を明らかにした。
- Si(111)上 Ge ナノ結晶の表面解析**  
 量子ドットデバイス材料として注目を集めているGeナノ結晶をSi(111)基板上に作製し、その表面、特にファセット表面の走査トンネル顕微鏡(STM)による解析について述べた。導電性カーボンナノチューブ(CNT)探針の優位性を活かし、ナノ結晶のファセット表面を詳細に観察し、ファセットの結晶学的方位と表面構造周期を同定した。さらに、STS測定により、ファセット表面の局所状態密度が高さに依存していることを見出し、その原因として、基板からのSi原子の拡散が考えられることを、第一原理計算により提案した。

- カーボンナノチューブ電界電子放出源を用いた真空ゲージの開発

CNT電界電子放出源を用いた真空ゲージ作製のための要素技術の開発と作製した真空ゲージの特性評価について述べた。三極構造のCNT電界電子放出源を作製し、各電極に印加する電圧を制御することにより、効率よく電子を引き出すことに成功した。作製した真空ゲージはN<sub>2</sub>圧力に対して線形に応答し、その感度係数は市販の熱陰極型真空ゲージと同等の13 Torr<sup>-1</sup>であった。さらに、15時間以上の安定性を得ることができた。

これらの研究を通して、パワーエレクトロニクス、スピントロニクス応用に向けた、デバイス結晶材料、および量子ドットナノ構造の表面に関する有意義な結果を得ることができた。また、CNT電界電子放出源を用いたイオンゲージの作製と特性評価を行い、真空エレクトロニクス機器において熱陰極をCNT電界電子放出源に置き換える利点を示した。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、新規結晶およびナノ構造体をパワーエレクトロニクス、スピントロニクス、量子ドットデバイスなどに応用する際に重要となる、材料表面の物性の微視的解明と制御を念頭に置いて、ZrB<sub>2</sub>(0001)、液相エピタキシャル成長 GaN(0001)、Si(111)上 MnSi 薄膜、Si(111)上 Ge ナノ結晶の表面解析に関する研究をまとめたものであり、8章より構成されている。

第1章では、本研究の背景と目的、本研究で得られた結果の概要、新しい知見、および各章間の関連を述べている。

第2章では、本研究に関連する基礎事項として、低速イオン散乱法、走査トンネル顕微鏡法の原理と特徴について述べている。

第3章では、本研究で用いた実験装置と実験手法について述べている。

第4章では、低速イオン散乱法により、GaN成長用基板であるZrB<sub>2</sub>(0001)表面の解析を行い、HF溶液を用いた新しい表面の清浄化手法の有効性を示すとともに、ヘテロエピタキシャル成長にとって重要となる表面の構造を明らかにしている。

第5章では、低速イオン散乱法により、液相エピタキシャル成長 GaN(0001)表面の解析を行い、エッチング処理と真空加熱により清浄表面が得られ、その表面の結晶性が良好であること、化学量論的組成を維持していることを明らかにしている。

第6章では、Si(111)上のMnSi初期成長過程と表面構造の低速イオン散乱法による解析を行い、成長形態の膜厚依存性、MnSi薄膜の構造、基板との結晶学的方位関係、ならびに終端原子種を明らかにしている。

第7章では、導電性カーボンナノチューブ探針を用いた走査トンネル顕微鏡により、Si(111)上に形成したGeナノ結晶のファセット表面を詳細に観察し、ファセット面の結晶学的方位、表面構造周期を決定している。さらに、トンネル微分コンダクタンスの測定により、局所状態密度が高さに依存していることを見出し、この現象が基板からのSi原子の拡散に起因していることを、第一原理計算により提案している。

第8章では、本研究において得られた知見を総括している。

以上のように、本論文では、デバイス結晶材料およびナノ構造体のそれぞれの表面構造について、0.1 Åオーダーの精度で計測と解析を行い、有意義な知見を得ている。また、論文公聴会においては適切な説明がなされ、討議・質問に対しては適確な回答がなされた。よって本論文が博士の学位を授与するにふさわしいものと認定する。